

## **Metode uji cepat rambat gelombang dan konstanta elastis ultrasonik batuan di laboratorium**

### **Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock**

**(ASTM D 2845-08, IDT)**





© ASTM 2008 – All rights reserved

© BSN 2016 untuk kepentingan adopsi standar © ASTM menjadi SNI – Semua hak dilindungi

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis BSN

**BSN**

Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)

[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



*"This Standard is identical to ASTM D 2845-08, **Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock**, Copyright ASTM International, 100 Barr Harbour Drive, West Conshohocken PA 19428 USA. Reprinted by permission of ASTM International."*

*ASTM International has authorized the distribution of this translation of SNI 2485:2015, but recognizes that the translation has gone through a limited review process. ASTM neither represents nor warrants that the translation is technically or linguistically accurate. Only the English edition as published and copyrighted by ASTM shall be considered the official version. Reproduction of this translation, without ASTM's written permission is strictly forbidden under U.S. and international copyright laws.  
U.S. and international copyright laws.*



## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata.....	iii
Pendahuluan.....	iv
1 Ruang lingkup .....	1
2 Dokumen acuan.....	1
3 Terminologi .....	3
4 Ringkasan metode uji .....	3
5 Arti dan kegunaan.....	3
6 Peralatan.....	5
7 Benda uji .....	9
8 Prosedur .....	15
9 Perhitungan.....	17
10 Laporan.....	19
11 Presisi dan bias.....	21
12 Kata kunci .....	21
Referensi.....	23
Ringkasan perubahan.....	25
Tabel 1 Statistik pengulangan dan reproduksibilitas.....	23
Gambar 1 - Diagram skematik peralatan .....	5
Gambar 2 - Komponen dasar pengirim dan penerima gelombang yang ditempatkan dalam suatu wadah.....	7
Gambar 3 - Spesifikasi kesejajaran .....	11
Gambar 4 - Grafik nilai diameter benda uji, panjang benda uji dan rata-rata ukuran butir terhadap rasio antara cepat rambat gelombang tekan dan frekuensi resonansi yang diijinkan .....	13



## Prakata

Standar ini adalah revisi dari SNI 03-2485-1991, Benda uji batu, Metode pengujian laboratorium cepat rambat ultrasonik dan konstanta elastis merupakan adopsi identik melalui metode penulisan ulang (*rewrite*) yang disertai dengan terjemahan dari standar ASTM D 2845-08, *Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constant of rock*. Untuk tujuan istilah internasional standar diganti dengan *National Standard* dan diterjemahkan menjadi standar nasional.

SNI ini direvisi karena sudah berumur lebih dari lima tahun dan disusun sesuai dengan ketentuan yang diberikan dalam Pedoman Standardisasi Nasional (PSN) 03.1:2007, Adopsi Standar Internasional dan Publikasi Internasional lainnya Bagian 1: Adopsi Standar Internasional menjadi SNI (*ISO/IEC Guide 21-1:2005, Regional or national adoption of International Standards and other International Deliverables – Part 1: Adoption of International Standard, MOD*).

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis 91-01 Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil, 91-01-S1 Bidang Sumber Daya Air dan telah dibahas pada rapat konsensus pada tanggal 14 Juni 2011 di Bandung dengan melibatkan wakil dari pemerintah, produsen, konsumen, pakar akademis dan peneliti serta instansi teknis terkait lainnya.

Deviasi standar ini terhadap ASTM D 2845-08 yaitu pada subpasal 1.4 nilai yang dinyatakan dalam satuan SI yang dianggap sebagai standar dan satuan inci-pon hanya sebagai informasi.



## Pendahuluan

Metode uji cepat rambat gelombang dan konstanta elastis ultrasonik benda uji batuan di laboratorium ini merupakan penyempurnaan SNI 03-2485-1991 dengan melakukan perubahan narasi, format, dan penyempurnaan tabel serta contoh hasil uji.

Maksud metode uji cepat rambat gelombang dan konstanta elastis ultrasonik benda uji batuan ini adalah untuk mengukur waktu guna mendapatkan kecepatan gelombang yang merambat melalui batuan baik gelombang yang arah penjalarannya lurus (*longitudinal*) maupun gelombang yang arah penjalarannya bersifat sejajar dengan permukaan gelombang.

Tujuan metode uji cepat rambat gelombang dan konstanta elastik ultrasonik benda uji batuan adalah untuk mendapatkan parameter modulus Young ( $E$ ), modulus geser ( $G$ ), angka Poisson ( $\mu$ ), modulus volumetrik ( $K$ ) dan konstanta Lamé ( $\lambda$ )

Parameter tersebut dapat digunakan antara lain untuk perencanaan fondasi atau terowongan, batu rip-rap pada lereng bendungan serta *rubble mound breakwater*





## Metode uji cepat rambat gelombang dan konstanta elastis ultrasonik batuan di laboratorium

### 1 Ruang lingkup

1.1 Metode uji ini menjelaskan peralatan dan prosedur pengukuran di laboratorium untuk kecepatan rambat pada gelombang tekan dan geser dalam batuan (1) dan penentuan konstanta elastis ultrasonik (Catatan 1) dari batuan isotropik atau contoh batuan lain yang agak anisotropik.

**CATATAN 1** Konstanta elastis yang ditentukan oleh metode uji ini berhubungan dengan ultrasonik sejak frekuensi getaran yang digunakan melebihi kisaran batas yang terdengar. Istilah sonik dan dinamik terkadang digunakan pada konstanta ini tetapi tidak memberi gambaran secara tepat (2). Ada kemungkinan bahwa konstanta elastis ultrasonik akan berbeda dengan yang ditentukan oleh metode dinamik lainnya.

1.2 Metode uji ini berlaku untuk pengukuran kecepatan gelombang baik pada batuan isotropik maupun anisotropik, meskipun kecepatan yang diperoleh pada batuan anisotropik dalam jumlah yang besar dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti arah, jarak tempuh, dan diameter transduser.

1.3 Konstanta elastis ultrasonik dihitung dari pengukuran kecepatan gelombang dan massa jenis. Batasan anisotropi yang diizinkan untuk perhitungan konstanta elastis dan prosedur untuk menentukan tingkat anisotropi telah ditetapkan.

1.4 Nilai yang dinyatakan dalam satuan SI harus dianggap sebagai standar. Nilai dalam tanda kurung merupakan konversi matematika untuk satuan inci-pon yang disediakan hanya untuk informasi dan tidak dianggap sebagai standar.

1.5 Standar ini tidak dimaksudkan untuk mengatasi masalah keselamatan, jika ada, sehubungan dengan penggunaannya. Pemakai standar ini bertanggung jawab untuk menetapkan cara keselamatan dan kesehatan, dan menentukan batas penerapan aturan sebelum menggunakannya.

### 2 Dokumen acuan

#### 2.1 Standar ASTM:

D 653 *Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids*

D 2216 *Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*

D 3740 *Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction*

D 6026 *Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data*

E 691 *Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method*





## Standard test method for laboratory determination of pulse velocities and ultrasonic elastic constants of rock

### 1 Scope

1.1 This test method describes equipment and procedures for laboratory measurements of the pulse velocities of compression waves and shear waves in rock **(1)** and the determination of ultrasonic elastic constants (Note 1) of an isotropic rock or one exhibiting slight anisotropy.

**NOTE 1** The elastic constants determined by this test method are termed ultrasonic since the pulse frequencies used are above the audible range. The terms sonic and dynamic are sometimes applied to these constants but do not describe them precisely (2). It is possible that the ultrasonic elastic constants may differ from those determined by other dynamic methods.

1.2 This test method is valid for wave velocity measurements in both anisotropic and isotropic rocks although the velocities obtained in grossly anisotropic rocks may be influenced by such factors as direction, travel distance, and diameter of transducers.

1.3 The ultrasonic elastic constants are calculated from the measured wave velocities and the bulk density. The limiting degree of anisotropy for which calculations of elastic constants are allowed and procedures for determining the degree of anisotropy are specified.

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

### 2 Referenced documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids

D 2216 Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass

D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction

D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method



### 3 Terminologi

3.1 Definisi umum yang digunakan dalam standar ini mengacu pada ASTM D 653

3.2 Definisi istilah khusus untuk standar ini:

3.2.1

#### **kecepatan gelombang tekan**

Kecepatan gelombang dilatasi yang merupakan kecepatan rambat dari gelombang longitudinal dalam suatu medium yang secara efektif tidak terbatas pada tingkat lateral. Hal ini jangan disalah-tafsirkan dengan kecepatan bar atau batang silinder logam.

### 4 Ringkasan metode uji

4.1 Detail prosedur penting untuk penentuan kecepatan ultrasonik yang diukur dalam jarak dan waktu tempuh gelombang tekan dan geser dalam contoh batuan termasuk syarat peralatan, tipe transduser yang diusulkan, metode persiapan, dan efek dari geometri benda uji dan ukuran butiran. Konstanta elastis dapat dihitung untuk batuan isotropik atau batuan yang agak anisotropik, sedangkan anisotropi dinyatakan dalam variasi kecepatan gelombang dengan arah dalam batuan.

### 5 Arti dan kegunaan

5.1 Keunggulan utama dari pengujian ultrasonik adalah bahwa pengujian tersebut menghasilkan kecepatan gelombang tekan dan gelombang geser, dan nilai ultrasonik untuk konstanta elastis benda uji batuan isotropik homogen yang utuh (3). Konstanta elastis tidak dihitung untuk batuan dengan anisotropi nyata yang digambarkan oleh prosedur dalam metode uji ini. Nilai konstanta elastis sering tidak sesuai dengan nilai konstanta yang ditentukan dengan metode laboratorium statis atau metode in-situ. Kecepatan gelombang yang diperoleh, kadang tidak sesuai dengan kecepatan seismik, tapi memberikan perkiraan yang baik. Evaluasi ultrasonik dari sifat batuan berguna untuk prediksi awal sifat statis. Metode uji ini berguna untuk mengevaluasi efek tegangan uniaksial dan kejenuhan air terhadap kecepatan gelombang. Pada akhirnya, sifat tersebut berguna untuk rekayasa desain.

5.2 Metode uji yang dijelaskan di sini tidak sesuai untuk mengukur penurunan tegangan gelombang dan walaupun kecepatan getaran dapat digunakan untuk menentukan konstanta elastis material dengan tingkat anisotropi tinggi, prosedur tersebut tidak dibahas disini.

**CATATAN 2** Kualitas yang dihasilkan prosedur ini tergantung pada kemampuan personel yang melaksanakannya serta kesesuaian peralatan dan fasilitas yang digunakan. Lembaga yang memenuhi kriteria ASTM D 3740 dianggap mampu untuk melakukan pengujian dan pengambilan contoh yang kompeten dan objektif. Pengguna standar ini diingatkan bahwa kesesuaian dengan ASTM D 3740 tidak menjamin hasil yang bisa diharapkan. Hasil kelayakan ditentukan oleh banyak faktor; ASTM D 3740 menyediakan sarana untuk mengevaluasi beberapa faktor tersebut.



### 3 Terminology

3.1 For common definitions of terms in this standard, refer to Terminology D 653.

3.2 *Definitions of terms specific to this standard:*

#### 3.2.1

**compression wave velocity—**

the dilational wave velocity which is the propagation velocity of a longitudinal wave in a medium that is effectively infinite in lateral extent. It is not to be confused with bar or rod velocity.

### 4 Summary of test method

4.1 Details of essential procedures for the determination of the ultrasonic velocity, measured in terms of travel time and distance, of compression and shear waves in rock specimens include requirements of instrumentation, suggested types of transducers, methods of preparation, and effects of specimen geometry and grain size. Elastic constants may be calculated for isotropic or slightly anisotropic rocks, while anisotropy is reported in terms of the variation of wave velocity with direction in the rock.

### 5 Significance and use

5.1 The primary advantages of ultrasonic testing are that it yields compression and shear wave velocities, and ultrasonic values for the elastic constants of intact homogeneous isotropic rock specimens (3). Elastic constants are not to be calculated for rocks having pronounced anisotropy by procedures described in this test method. The values of elastic constants often do not agree with those determined by static laboratory methods or the *in situ* methods. Measured wave velocities likewise may not agree with seismic velocities, but offer good approximations. The ultrasonic evaluation of rock properties is useful for preliminary prediction of static properties. The test method is useful for evaluating the effects of uniaxial stress and water saturation on pulse velocity. These properties are in turn useful in engineering design.

5.2 The test method as described herein is not adequate for measurement of stress-wave attenuation. Also, while pulse velocities can be employed to determine the elastic constants of materials having a high degree of anisotropy, these procedures are not treated herein.

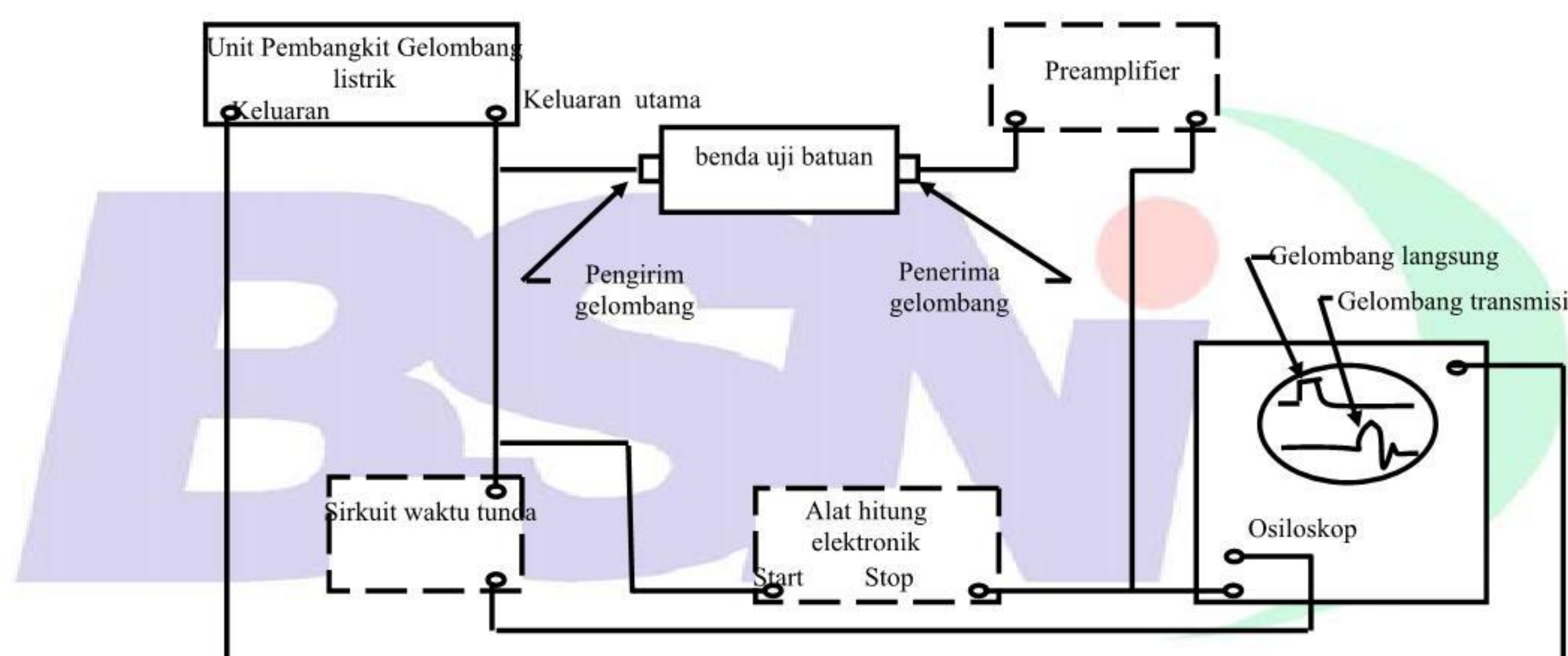
**NOTE 2** The quality of the result produced by this standard is dependent on the competence of the personnel performing it, and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing and sampling. Users of this standard are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself assure reliable results. Reliable results depend on many factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.



## 6 Peralatan

6.1 Umum - Setiap komponen elektronik peralatan pengujian (Gambar 1) sebaiknya memiliki impedansi yang cocok satu dengan lainnya dan diberi pelindung untuk memastikan perpindahan energi yang efisien. Untuk mencegah kerusakan pada peralatan, voltase yang dimasukkan tidak boleh melewati batas maksimum yang diizinkan.

6.2 Unit pembangkit gelombang - Unit ini harus terdiri dari alat pembangkit gelombang elektronik dan bila diperlukan sebuah amplifier voltase eksternal. Keluaran voltase dalam gelombang berbentuk kotak atau gelombang sinus sudah cukup memadai. Alat pembangkit harus memiliki keluaran voltase dengan nilai maksimum setelah penambahan tegangan sekurang-kurangnya 50 V untuk beban impedansi 50-Ω. Lebar gelombang diharapkan berkisar antara 1μ sampai dengan 10μs. Nilai pengulangan gelombang dapat ditetapkan pada 60 pengulangan setiap detik atau kurang walaupun dianjurkan untuk menentukan kisaran sebesar 20 pengulangan sampai dengan 100 pengulangan setiap detik. Alat pembangkit gelombang juga harus mempunyai keluaran gelombang pembangkit untuk memicu osiloskop. Akan terjadi penundaan keluaran gelombang utama terkait dengan keluaran gelombang pembangkit dengan kisaran minimum antara 0 μs sampai dengan 20 μs.



**CATATAN 1** Komponen yang ditunjukkan oleh garis putus-putus bersifat opsional, tergantung pada metode pengukuran waktu tempuh dan sensitivitas tegangan osiloskop.

**Gambar 1 - Diagram skematik peralatan**

6.3 Transduser – Transduser harus terdiri dari pemancar yang mengubah gelombang listrik menjadi gelombang mekanik dan penerima yang mengubah gelombang mekanik menjadi gelombang listrik. Kondisi lingkungan seperti suhu sekeliling, kadar air, kelembapan dan tumbukan harus dipertimbangkan dalam pemilihan elemen transduser. Elemen piezoelektrik biasanya cocok, akan tetapi elemen magnetostriktif mungkin lebih sesuai. Elemen piezoelektrik penambah ketebalan menghasilkan dan mendeteksi energi gelombang tekan; elemen piezoelektrik geser ketebalan lebih sering digunakan untuk pengukuran gelombang geser. Biasanya bahan piezoelektrik yang digunakan terdiri dari bahan keramik seperti timbal dicampur zirkon dan titanit untuk tekan atau untuk pergeseran, dan bahan kristal seperti potongan kuars untuk pergeseran. Untuk mengurangi sebaran maupun gelombang awal yang diterima kurang baik oleh penerima, alat transmitter harus dibuat sedemikian rupa supaya dapat membangkitkan panjang gelombang sekurang-kurangnya 3 kali ukuran butir rata-rata batuan.

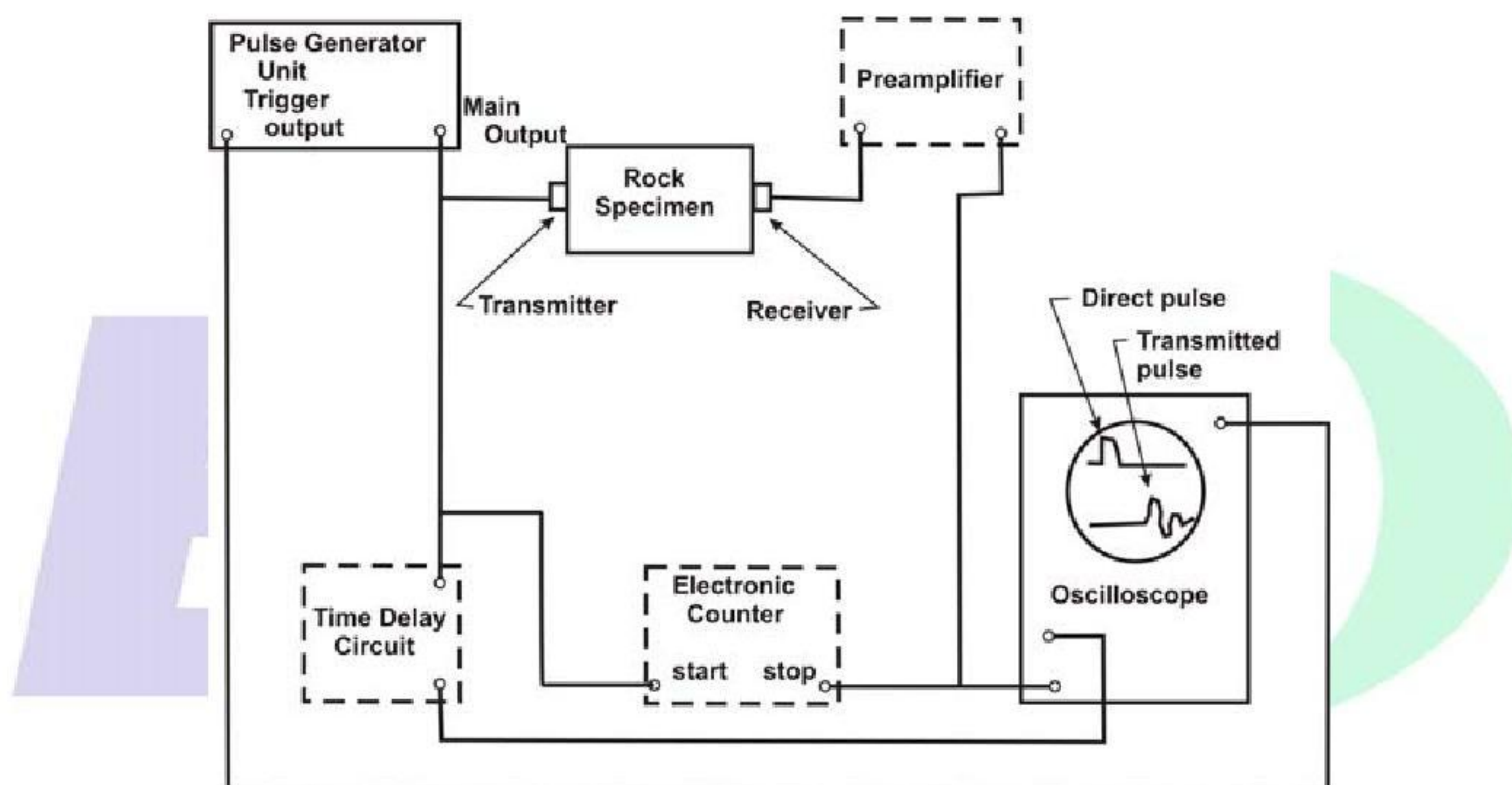
**CATATAN 3** Panjang gelombang adalah kecepatan gelombang pada benda uji batuan dibagi oleh frekuensi resonansi transduser. Frekuensi yang biasa digunakan berkisar antara 75 kHz sampai 3 MHz.



## 6 Apparatus

6.1 *General* - The testing apparatus (Fig. 1) should have impedance matched electronic components and shielded leads to ensure efficient energy transfer. To prevent damage to the apparatus allowable voltage inputs should not be exceeded.

6.2 *Pulse generator unit* - This unit shall consist of an electronic pulse generator and external voltage or power amplifiers if needed. A voltage output in the form of either rectangular pulse or a gated sine wave is satisfactory. The generator shall have a voltage output with a maximum value after amplification of at least 50 V into a 50-  $\Omega$  impedance load. A variable pulse width, with a range of 1 to 10  $\mu$ s is desirable. The pulse repetition rate may be fixed at 60 repetitions per second or less although a range of 20 to 100 repetitions per second is recommended. The pulse generator shall also have a trigger-pulse output to trigger the oscilloscope. There shall be a variable delay of the main-pulse output with respect to the trigger-pulse output, with a minimum range of 0 to 20  $\mu$ s.



**NOTE 1** Components shown by dashed lines are optional, depending on method of travel-time measurement and voltage sensitivity of oscilloscope.

**Fig. 1 Schematic diagram of typical apparatus**

6.3 *Transducers* - The transducers shall consist of a transmitter that converts electrical pulses into mechanical pulses and a receiver that converts mechanical pulses into electrical pulses. Environmental conditions such as ambient temperature, moisture, humidity, and impact should be considered in selecting the transducer element. Piezoelectric elements are usually recommended, but magnetostrictive elements may be suitable. Thickness-expander piezoelectric elements generate and sense predominately compression-wave energy; thickness-shear piezoelectric elements are preferred for shear-wave measurements. Commonly used piezoelectric materials include ceramics such as lead-zirconate-titanate for either compression or shear, and crystals such as a-c cut quartz for shear. To reduce scattering and poorly defined first arrivals at the receiver, the transmitter shall be designed to generate wavelengths at least 3 X the average grain size of the rock.

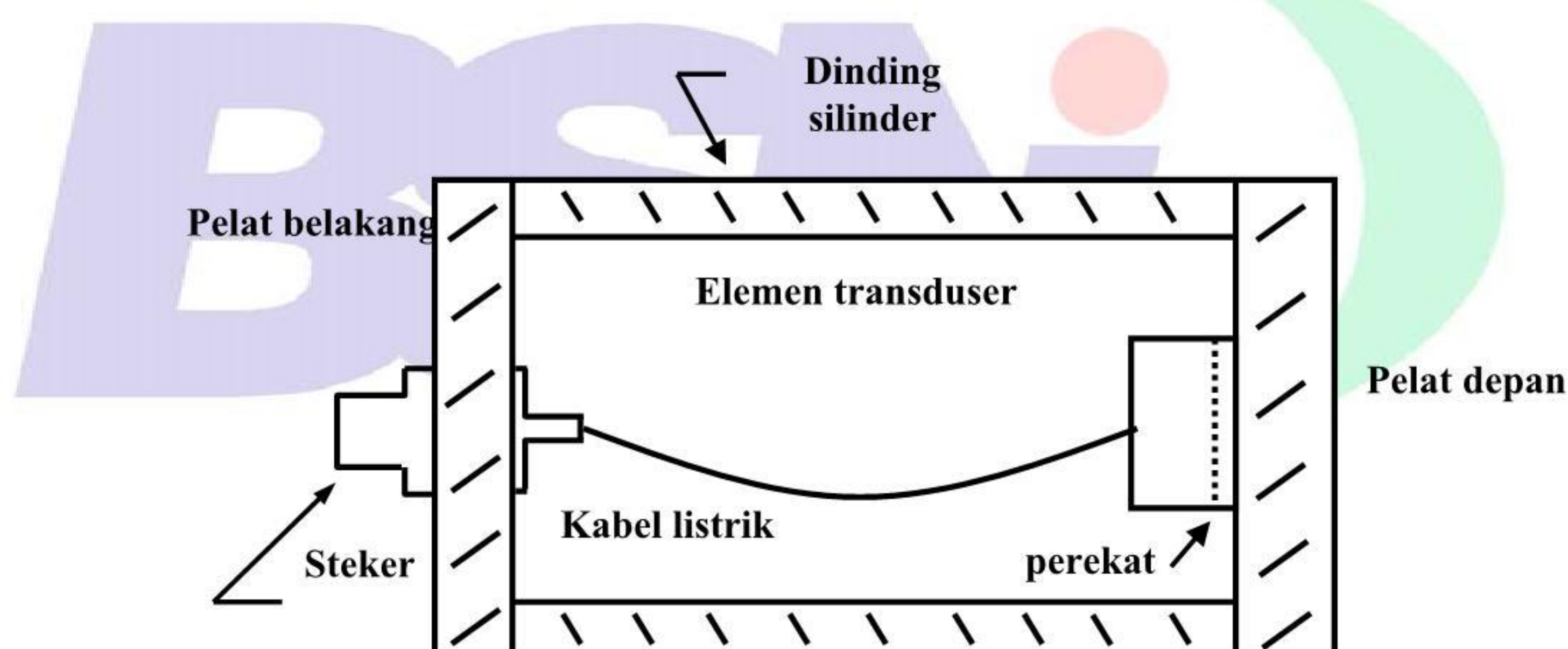
**NOTE 3** Wavelength is the wave velocity in the rock specimen divided by the resonance frequency of the transducer. Commonly used frequencies range from 75 kHz to 3 MHz.



6.3.1 Untuk pengujian di laboratorium, lebih baik jika menggunakan elemen transduser yang tidak berwadah. Tetapi jika keluaran voltasenya rendah, elemen harus ditempatkan pada logam (pembumian) untuk mengurangi terambilnya elektromagnetik yang menyimpang. Jika diperlukan perlindungan terhadap kerusakan mekanik, pemancar maupun penerima dapat ditempatkan dalam wadah logam. Hal ini memungkinkan penyokong khusus elemen transduser untuk mengubah atau mengurangi sensitivitas dering (4). Fitur dasar sebuah elemen yang ditempatkan dalam wadah diilustrasikan pada Gambar 2. Pengiriman gelombang energi antara elemen transduser dan benda uji dapat ditingkatkan dengan cara (1) pengerjaan dengan mesin atau meratakan permukaan pelat untuk membuatnya halus, datar dan paralel (2) membuat permukaan pelat dari logam seperti magnesium yang mempunyai karakteristik impedansi mendekati jenis batuan biasa, (3) membuat permukaan pelat setipis mungkin, (4) melekatkan elemen transduser ke permukaan pelat dengan lapisan tipis perekat konduktif listrik, disarankan dari jenis epoksi.

6.3.2 Kecepatan gelombang juga dapat ditentukan untuk benda uji dengan tekanan uniaksial. Dalam hal ini penempatan transduser dalam wadah akan berfungsi sebagai pelat pembebanan dan harus dirancang dengan permukaan pelat yang tebal untuk memastikan beban merata di atas ujung benda uji (5).

**CATATAN 4** Kondisi tekanan pada beberapa jenis batuan memiliki efek nyata terhadap kecepatan gelombang. Batuan di lapangan biasanya dalam keadaan tertekan dan untuk itu pengujian di bawah tekanan memiliki signifikansi praktis.



**Gambar 2 - Komponen dasar pengirim dan penerima gelombang yang ditempatkan dalam suatu wadah**

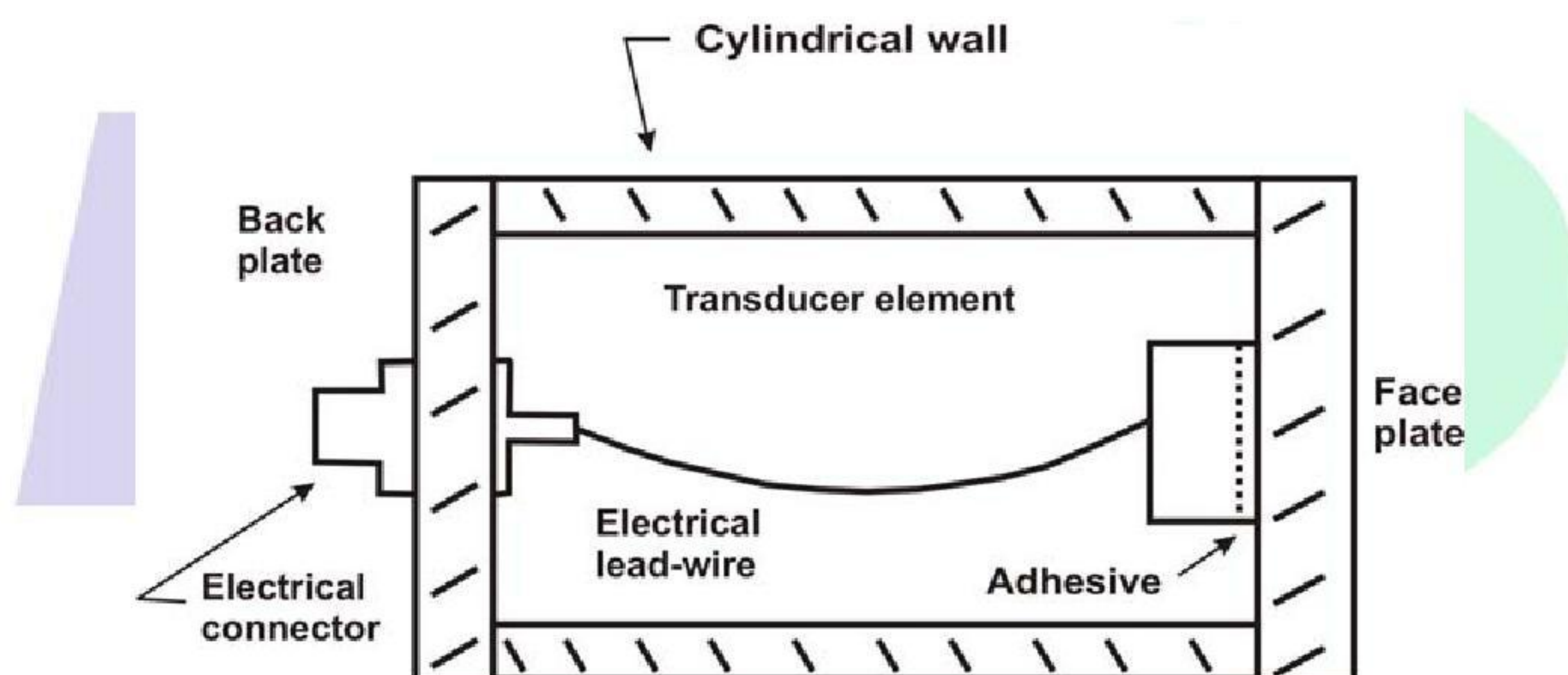
6.4 *Preamplifier* – Voltase *preamplifier* diperlukan jika keluaran voltase dari transduser penerima relatif rendah atau alat penayang dan pencatat waktu relatif tidak sensitif. Untuk mempertahankan kenaikan waktu yang cepat, respon frekuensi *Preamplifier* harus menurun tidak lebih dari 2 dB pada rentang frekuensi dari 5 kHz sampai 4 kali frekuensi resonansi penerima. Suara internal dan tambahannya juga harus dipertimbangkan dalam memilih sebuah *Preamplifier*. Osiloskop dengan keluaran sinyal vertikal dapat digunakan untuk memperkuat sinyal penghitung elektronik.



6.3.1 In laboratory testing, it may be convenient to use unhoused transducer elements. But if the output voltage of the receiver is low, the element should be housed in metal (grounded) to reduce stray electromagnetic pickup. If protection from mechanical damage is necessary, the transmitter as well as the receiver may be housed in metal. This also allows special backings for the transducer element to alter its sensitivity or reduce ringing (4). The basic features of a housed element are illustrated in Fig. 2. Energy transmission between the transducer element and test specimen can be improved by (1) machining or lapping the surfaces of the face plates to make them smooth, flat, and parallel, (2) making the face plate from a metal such as magnesium whose characteristic impedance is close to that of common rock types, (3) making the face plate as thin as practicable, and (4) coupling the transducer element to the face plate by a thin layer of an electrically conductive adhesive, an epoxy type being suggested.

6.3.2 Pulse velocities may also be determined for specimens subjected to uniaxial states of stress. The transducer housings in this case will also serve as loading platens and should be designed with thick face plates to assure uniform loading over the ends of the specimen (5).

**NOTE 4** The state of stress in many rock types has a marked effect on the wave velocities. Rocks *in situ* are usually in a stressed state and therefore tests under stress have practical significance.



**Fig. 2 Basic features of a housed transmitter or receiver**

6.4 *Preamplifier* - A voltage preamplifier is required if the voltage output of the receiving transducer is relatively low or if the display and timing units are relatively insensitive. To preserve fast rise times, the frequency response of the preamplifier shall drop no more than 2 dB over a frequency range from 5 kHz to 4 X the resonance frequency of the receiver. The internal noise and gain must also be considered in selecting a preamplifier. Oscilloscopes having a vertical-signal output can be used to amplify the signal for an electronic counter.



6.5 Alat penayang dan pencatat waktu - Voltase gelombang yang digunakan pada transduser pengirim dan keluaran voltase dari transduser penerima akan ditampilkan pada osiloskop sinar katoda untuk pengamatan visual bentuk gelombang. Osiloskop harus memiliki respon datar antara frekuensi 5 kHz dan 4 kali frekuensi resonansi dari transduser. Osiloskop akan mempunyai balok ganda atau *dual traces* sehingga dua bentuk gelombang dapat ditampilkan secara bersamaan dan amplitudonya dikontrol secara terpisah. Osiloskop akan dipicu oleh getaran pemicu dari pembangkit getaran. Pencatat waktu harus mampu mengukur interval antara 2  $\mu$ s dan 5 ms dengan akurasi 1 banding 100. Disarankan ada dua alternatif kelas pencatat waktu, posisi masing-masing ditunjukkan sebagai garis putus-putus dalam diagram blok pada Gambar. 1: (1) penghitung elektronik dengan ketentuan untuk pengukuran interval waktu, atau (2) sirkuit waktu tunda sebagai pembangkit variabel tunda yang terus-menerus, atau fitur tunda pada osiloskop tersebut. Sirkuit pengukuran waktu tempuh harus dikalibrasi secara berkala untuk keakuratan dan kelinearan cakupan instrumen. Kalibrasi harus diperiksa terhadap sinyal yang dikirimkan oleh stasiun Radio WWV di *National Institute of Standards and Technology*, atau terhadap tanda waktu yang diatur kristal atau frekuensi pembangkit yang dapat dirujuk kembali ke sinyal WWV secara berkala. Disarankan bahwa kalibrasi sirkuit pengukur waktu diperiksa setidaknya sebulan sekali dan setelah setiap kerusakan parah yang mungkin dialami instrumen tersebut.

## 7 Benda uji

7.1 Persiapan - Perlu kehati-hatian pada saat pengeboran, penanganan, pemotongan, penghalusan dan penambalan benda uji untuk meminimalkan kerusakan mekanik yang disebabkan tekanan dan panas. Cairan selain air jangan menyentuh benda uji, kecuali ketika dibutuhkan sebagai media perantara benda uji dan transduser selama pengujian. Permukaan bidang di bawah setiap transduser harus cukup rata sehingga meteran pengukur ketebalan dengan kisaran 0,025 mm (0,001 in) tidak dapat dilewatkan melalui celah antara permukaan benda uji dan transduser. Dua permukaan yang berlawanan dimana transduser akan ditempatkan harus paralel dengan toleransi 0,1 mm/20 mm (0,005 in/in.) dalam dimensi lateral (Gambar 3). Apabila pengukuran kecepatan gelombang akan dilakukan sepanjang diameter inti, toleransi diatas mengacu pada kesejajaran garis kontak antara transduser dan permukaan lengkung dari inti batuan. Kadar air dari benda uji dapat mempengaruhi hasil pengukuran kecepatan gelombang. Kecepatan gelombang dapat diketahui dari uji kecepatan benda uji batuan dalam keadaan jenuh kering oven (0% jenuh), dalam keadaan jenuh (100% jenuh), atau dalam keadaan di antaranya. Apabila kecepatan gelombang akan ditentukan pada batuan dengan kadar air seperti keadaan aslinya dibawah tanah, penanganan harus dilakukan dengan hati-hati sejak persiapan agar supaya kadar air tidak berubah. Dalam hal ini disarankan agar benda uji dan contoh disimpan pada kantong yang kedap air atau dilindungi dengan lilin dan supaya dilakukan prosedur persiapan permukaan kering. Untuk hasil benda uji dalam kondisi kering oven, gunakan acuan pada metode ASTM D. 2216. Benda uji harus terendam dalam air sampai waktu pengujian jika ingin mendapatkan hasil untuk benda uji dalam keadaan jenuh.



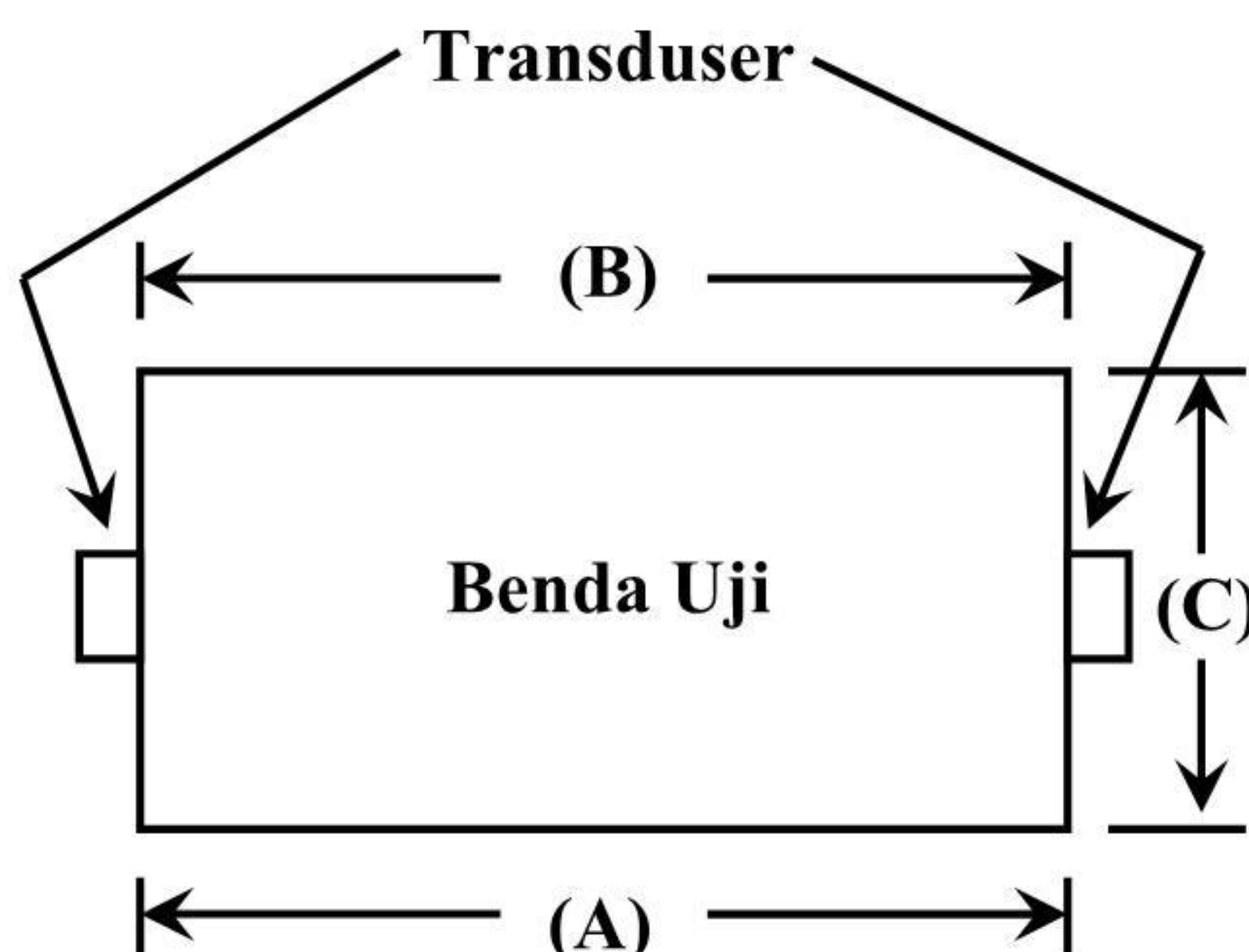


6.5 *Display and timing Unit* - The voltage pulse applied to the transmitting transducer and the voltage output from the receiving transducer shall be displayed on a cathode-ray oscilloscope for visual observation of the waveforms. The oscilloscope shall have an essentially flat response between a frequency of 5 kHz and 4 X the resonance frequency of the transducers. It shall have dual beams or dual traces so that the two waveforms may be displayed simultaneously and their amplitudes separately controlled. The oscilloscope shall be triggered by a triggering pulse from the pulse generator. The timing unit shall be capable of measuring intervals between 2  $\mu$ s and 5 ms to an accuracy of 1 part in 100. Two alternative classes of timing units are suggested, the respective positions of each being shown as dotted outlines in the block diagram in Fig. 1: (1) an electronic counter with provisions for time interval measurements, or (2) a time-delay circuit such as a continuously variable-delay generator, or a delayed-sweep feature on the oscilloscope. The travel-time measuring circuit shall be calibrated periodically with respect to its accuracy and linearity over the range of the instrument. The calibration shall be checked against signals transmitted by the National Institute of Standards and Technology radio station WWV, or against a crystal controlled time-mark or frequency generator that can be referenced back to the signals from WWV periodically. It is recommended that the calibration of the time measuring circuit be checked at least once a month and after any severe impact that the instrument may receive.

## 7 Test specimens

7.1 *Preparation* - Exercise care in core drilling, handling, sawing, grinding, and lapping the test specimen to minimize the mechanical damage caused by stress and heat. It is recommended that liquids other than water be prevented from contacting the specimen, except when necessary as a coupling medium between specimen and transducer during the test. The surface area under each transducer shall be sufficiently plane that a feeler gage 0.001 in. (0.025 mm) thick will not pass under a straightedge placed on the surface. The two opposite surfaces on which the transducers will be placed shall be parallel to within 0.005 in./in. (0.1 mm/20 mm) of lateral dimension (Fig. 3). If the pulse velocity measurements are to be made along a diameter of a core, the above tolerance then refers to the parallelism of the lines of contact between the transducers and curved surface of the rock core. Moisture content of the test specimen can affect the measured pulse velocities. Pulse velocities may be determined on the velocity test specimen for rocks in the oven-dry state (0 % saturation), in a saturated condition (100 % saturation), or in any intermediate state. If the pulse velocities are to be determined with the rock in the same moisture condition as received or as exists underground, care must be exercised during the preparation procedure so that the moisture content does not change. In this case it is suggested that both the sample and test specimen be stored in moisture-proof bags or coated with wax and that dry surface-preparation procedures be employed. If results are desired for specimens in the oven-dried condition, refer to Test Method ASTM D 2216. The specimen shall remain submerged in water up to the time of testing when results are desired for the saturated state.





**CATATAN 1** (A) Harus diantara 0,1 mm (B) untuk setiap lebar 20 mm (C)

**Gambar 3 - Spesifikasi kesejajaran**

7.2 Batasan dimensi - Direkomendasikan bahwa rasio jarak rambatan gelombang terhadap dimensi lateral minimum tidak melebihi 5. Kecepatan gelombang yang handal tidak terukur untuk nilai tinggi rasio ini. Jarak rambatan gelombang melalui batuan harus minimal 10 kali ukuran butir rata-rata sehingga kecepatan perambatan rata-rata yang akurat dapat ditentukan. Ukuran butir dari sampel batuan, frekuensi resonansi alami transduser, dan dimensi lateral minimum benda uji merupakan faktor yang saling terkait yang mempengaruhi hasil uji. Panjang gelombang yang sesuai dengan frekuensi dominan rangkaian gelombang batuan berhubungan dengan frekuensi resonansi alami transduser dan cepat rambat getaran, (tekan atau geser) sebagai berikut:

$$\Lambda \approx V / f \quad (1)$$

Keterangan:

$\Lambda$  adalah panjang gelombang dominan rangkaian gelombang, m (atau in),

$V$  adalah cepat rambat getaran (tekan atau geser), m/s (atau in/s), dan

$f$  adalah frekuensi resonansi alami transduser, Hz.

Dimensi lateral minimum benda uji harus sekurang-kurangnya 5 x panjang gelombang gelombang tekan sehingga kecepatan gelombang dilasional yang sebenarnya dapat diukur (Catatan 5), yaitu,

$$D \geq 5\Lambda \quad (2)$$

Keterangan:

$D$  adalah dimensi lateral minimum benda uji, m (atau in).

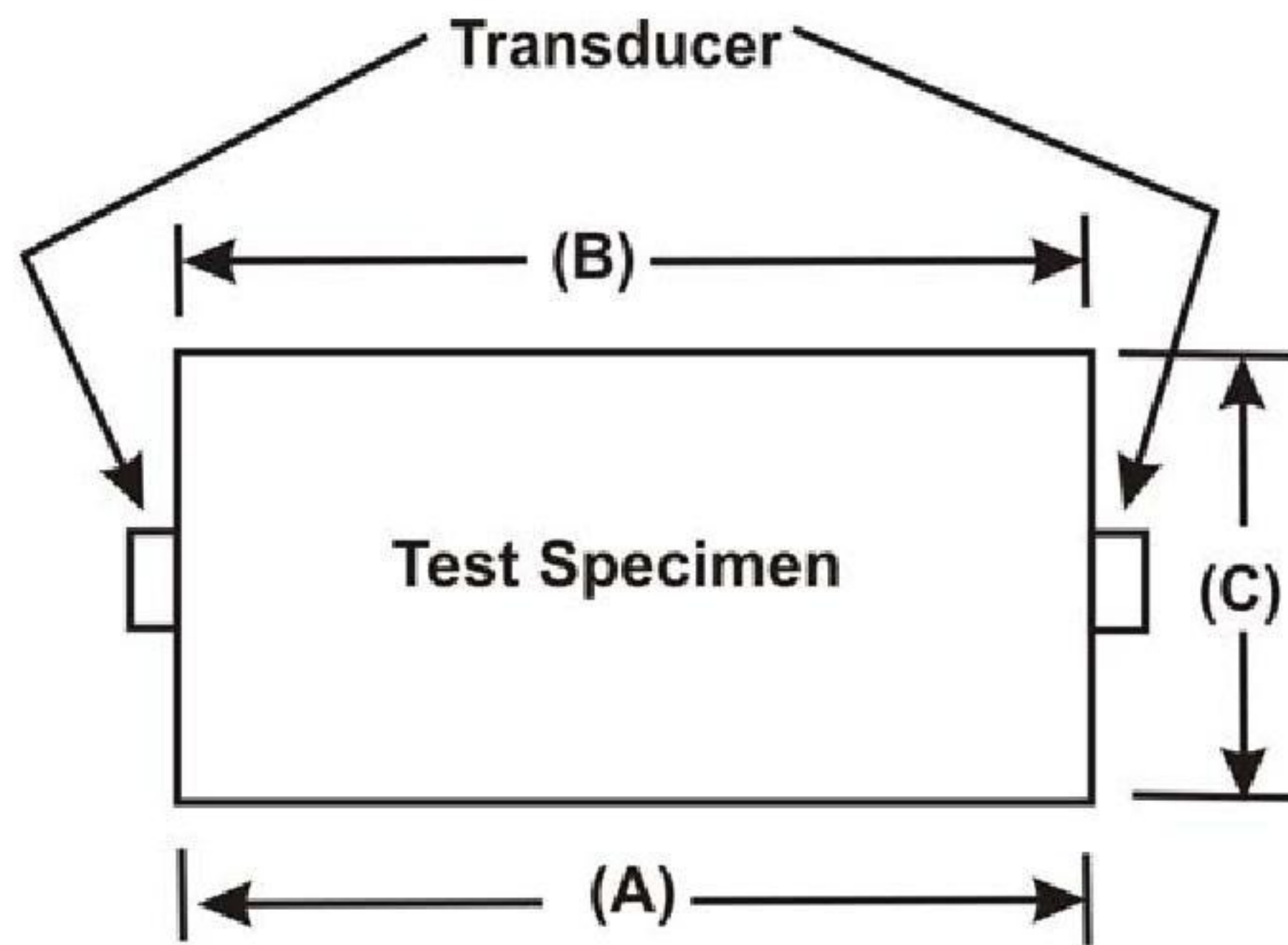
Panjang gelombang harus minimal 3 x ukuran butir rata-rata (lihat 6.3), sehingga

$$\Lambda \geq 3d \quad (3)$$

Keterangan:

$d$  adalah ukuran butir rata-rata, m (atau in).





NOTE 1 (A) must be within 0.1 mm of (B) for each 20 mm of width (C).

**Fig. 3 Specification for parallelism**

**7.2 Limitation on dimensions** - It is recommended that the ratio of the pulse-travel distance to the minimum lateral dimension not exceed 5. Reliable pulse velocities may not be measurable for high values of this ratio. The travel distance of the pulse through the rock shall be at least 10 X the average grain size so that an accurate average propagation velocity may be determined. The grain size of the rock sample, the natural resonance frequency of the transducers, and the minimum lateral dimension of the specimen are interrelated factors that affect test results. The wavelength corresponding to the dominant frequency of the pulse train in the rock is approximately related to the natural resonance frequency of the transducer and the pulse-propagation velocity, (compression or shear) as follows:

$$\Lambda \approx V / f \quad (1)$$

where:

$\Lambda$  = dominant wavelength of pulse train, in. (or m),

$V$  = pulse propagation velocity (compression or shear), in./s (or m/s), and

$f$  = natural resonance frequency of transducers, Hz.

The minimum lateral dimension of the test specimen shall be at least 5 3 the wavelength of the compression wave so that the true dilational wave velocity is measured (Note 5), that is,

$$D \geq 5\Lambda \quad (2)$$

where:

$D$  = minimum lateral dimension of test specimen, in. (or m).

The wavelength shall be at least 3 3 the average grain size (See 6.3) so that

$$\Lambda \geq 3d \quad (3)$$

where:

$d$  = average grain size, in. (or m).



Persamaan 1, Persamaan 2 dan Persamaan 3 dapat digabungkan untuk menghasilkan hubungan gelombang tekan sebagai berikut:

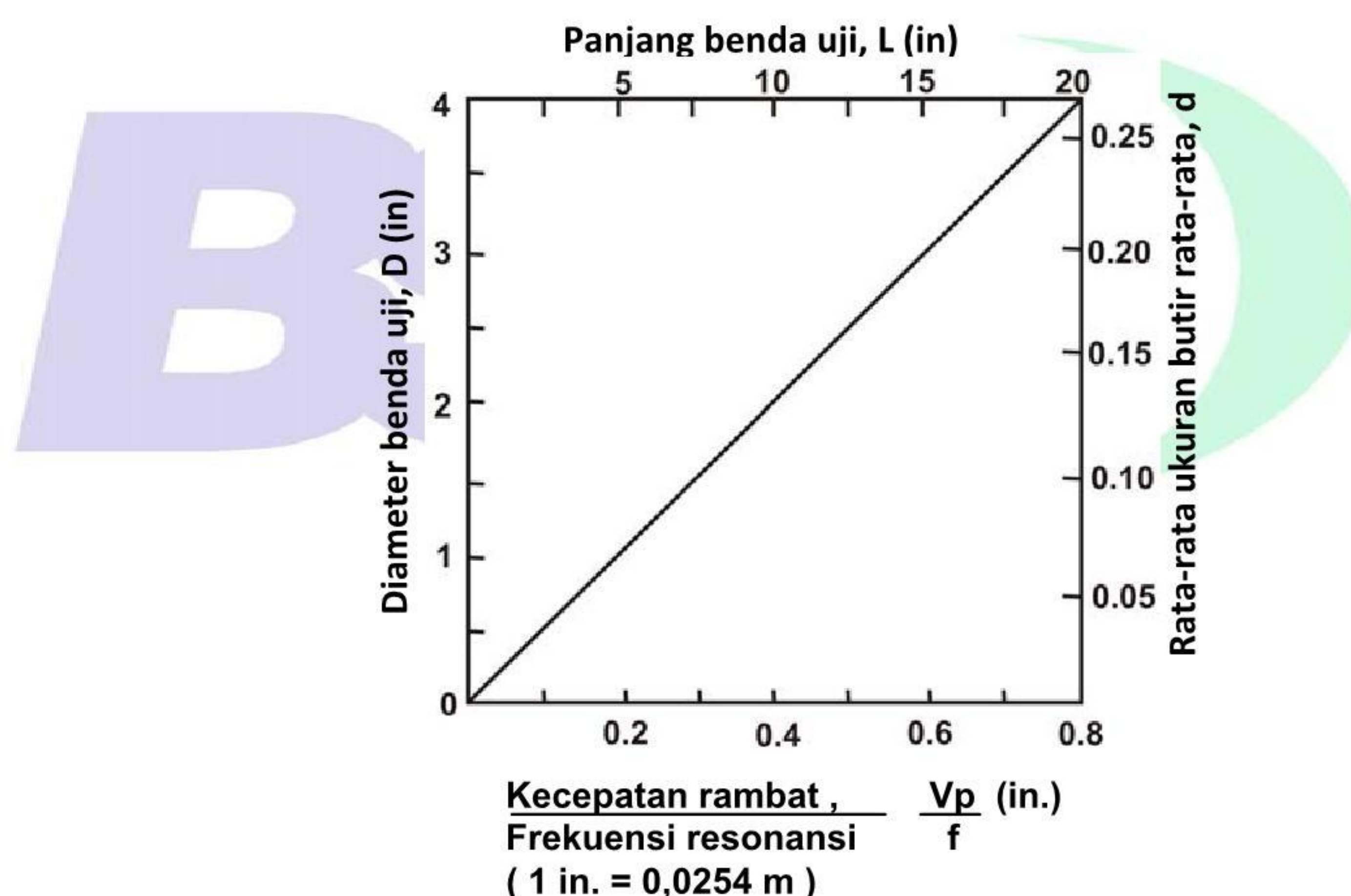
$$D \geq 5(V_p / f) \geq 15 d \quad (4)$$

Keterangan :

$V_p$  adalah cepat rambat gelombang (tekan), m/s (atau in / s).

Karena  $V_p$  dan  $d$  adalah sifat yang melekat pada batuan, maka untuk setiap benda uji,  $f$  dan  $D$  harus dipilih guna memenuhi Persamaan 4 (Gbr. 4). Untuk setiap nilai tertentu  $V_p / f$ , nilai diameter spesimen  $D$  yang diperbolehkan terletak di atas garis diagonal pada Gambar. 4, sementara nilai yang diperbolehkan untuk ukuran butir  $d$  terletak di bawah garis diagonal. Untuk diameter tertentu, nilai panjang spesimen  $L$  yang diperbolehkan terletak di kiri garis diagonal.

**CATATAN 5** Silaeva dan Shamina (6) menemukan rasio batas diameter terhadap panjang gelombang sekitar 2 untuk batang logam silinder . Data yang diperoleh Cannady (3) untuk batuan menunjukkan bahwa rasio batas minimal 8 untuk rasio panjang terhadap diameter adalah sekitar 8.



**Gambar 4 - Grafik nilai diameter benda uji, panjang benda uji dan rata-rata ukuran butir terhadap rasio antara cepat rambat gelombang tekan dan frekuensi resonansi yang diijinkan**



Eq 1, Eq 2, and Eq 3 can be combined to yield the relationship for compression waves as follows:

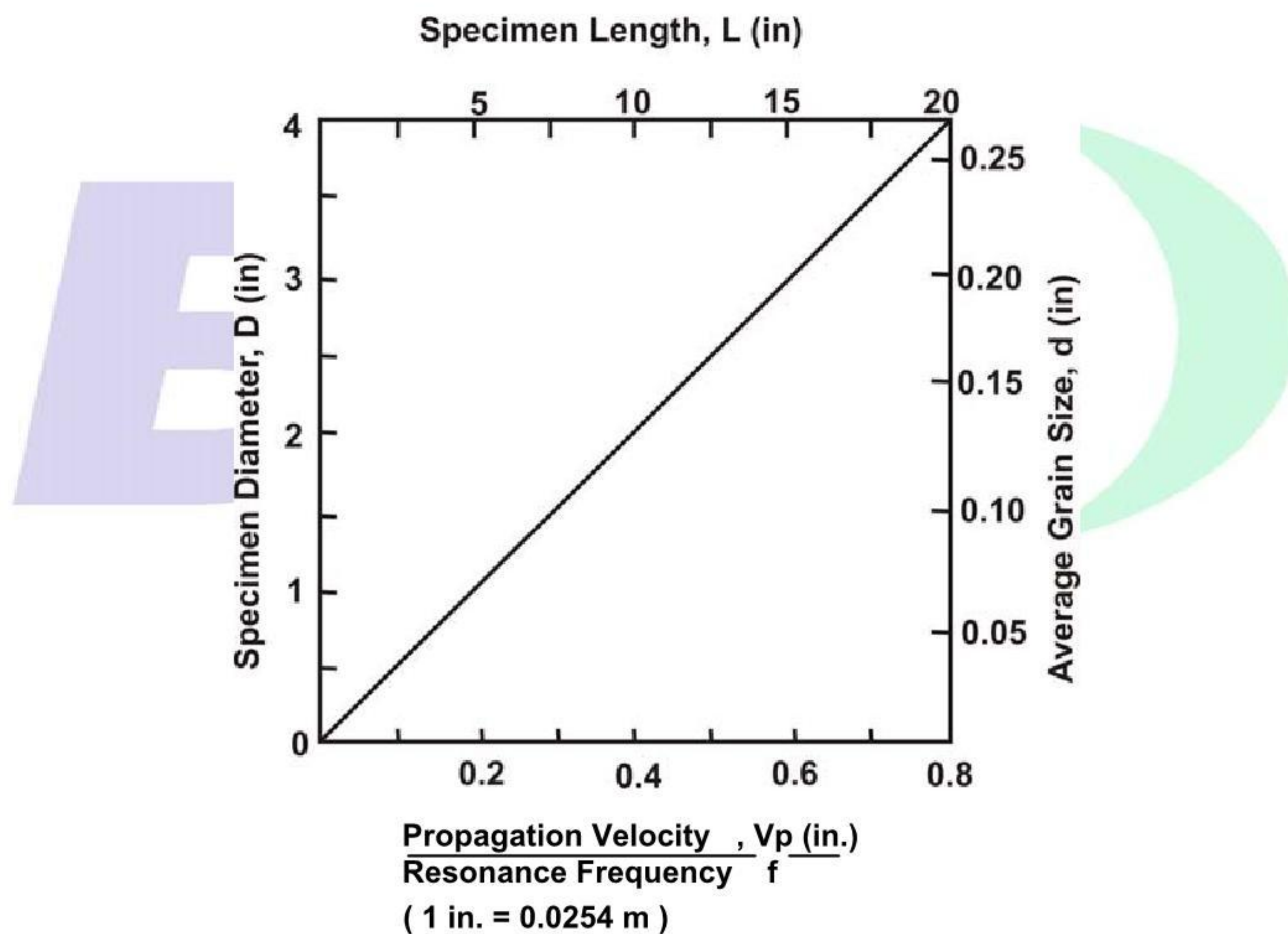
$$D \geq 5(V_p / f) \geq 15d \quad (4)$$

where:

$V_p$  = pulse propagation velocity (compression), in./s (or m/s).

Since  $V_p$  and  $d$  are inherent properties of the material,  $f$  and  $D$  shall be selected to satisfy Eq 4 (Fig. 4) for each test specimen. For any particular value of  $V_p/f$  the permissible values of specimen diameter  $D$  lie above the diagonal line in Fig. 4, while the permissible values of grain size  $d$  lie below the diagonal line. For a particular diameter, the permissible values for specimen length  $L$  lie to the left of the diagonal line.

**NOTE 5** Silaeva and Shamina (6) found the limiting ratio of diameter to wavelength to be about 2 for metal rods. Data obtained by Cannady (3) on rock indicate the limiting ratio is at least 8 for a specimen length-to-diameter ratio of about 8.



**Fig. 4** Graph showing allowable values of specimen diameter, specimen length and average grain size versus the ratio of compression propagation velocity to resonance frequency



## 8 Prosedur

8.1 Penentuan jarak rambatan dan densitas - Tandai posisi transduser pada benda uji sehingga garis yang menghubungkan pusat bidang kontak transduser tidak miring lebih dari  $2^\circ$  (sekitar 0,1 in. dalam 3 in (1 mm dalam 30 mm)) terhadap garis tegak lurus pada salah satu permukaan. Kemudian ukur jarak rambatan gelombang dari pusat ke pusat bidang kontak transduser dengan toleransi 0,1%. Densitas benda uji diperlukan dalam perhitungan konstanta elastik ultrasonik (lihat 8.2). Tentukan densitas benda uji dari pengukuran massa dan volume yang dihitung dari dimensi eksternal rata-rata. Tentukan massa dan dimensi rata-rata dalam toleransi 0,1%. Hitung densitas sebagai berikut:

$$\rho = m / V$$

Keterangan :

$\rho$  adalah densitas,  $\text{kg/m}^3$  (atau  $\text{lb sec}^2/\text{in.}^4$ ),  
 $m$  adalah massa benda uji, kg (atau  $\text{lb sec}^2/386.4 \text{ in}$ ), dan  
 $V$  adalah volume benda uji,  $\text{m}^3$  (atau  $\text{in}^3$ ).

8.2 Kondisi kadar air - Kondisi kadar air dari sampel harus dicatat dan dilaporkan sebagaimana dijelaskan dalam 10.1.3.

8.3 Penentuan waktu rambatan gelombang:

8.3.1 Naikkan keluaran voltase yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang, hasil amplifier sensitivitas osiloskop dan penghitung sampai tingkat optimal, sehingga gelombang awal yang tinggi memungkinkan pengukuran waktu yang lebih akurat. Tingkat optimum berada sedikit dibawah kebisingan elektro magnetik yang besarnya tidak bisa ditoleransi atau dapat memicu alat hitung berada pada sensitivitas pemacu terendah. Tingkat kebisingan tidak akan lebih besar dari sepersepuluh amplitudo puncak sinyal pertama alat penerima. Ukur waktu rambatan dengan toleransi 0,01 untuk gelombang tekan dan 0,02 untuk gelombang geser dengan (1) menggunakan sirkuit waktu tunda bersamaan dengan osiloskop (lihat bagian 8.3.1.1), atau (2) atur alat hitung hingga mencapai ketelitian tertinggi (lihat bagian 8.3.1.2).

8.3.1.1 Osiloskop digunakan dengan sirkuit waktu tunda untuk menampilkan baik gelombang langsung dan rambatan gelombang pertama, dan untuk mengukur waktu rambat. Biasanya, yang ditampilkan pada oskiloskop terdiri dari transisi lengkung jejak horizontal voltase nol diikuti oleh suatu jejak curam yang lebih kurang linier. Pilihlah waktu tunda pertama secara konsisten untuk pengukuran pengujian dan penentuan waktu nol. Lakukan pemilihan pada awal daerah transisi lengkung atau pada garis potong voltase nol pada garis lurus rambatan pertama.

8.3.1.2 Penghitungan dimulai karena dengan memicu gelombang langsung pada alat pengirim yang dipicu untuk berhenti apabila rambatan gelombang pertama mencapai alat penerima. Karena diperlukan perubahan tegangan listrik untuk memicu penghitungan, maka hal ini tidak dapat mendeteksi secara akurat penundaan pertama gelombang. Untuk melakukan pengukuran interval waktu dengan tepat, sensitivitas (kepekaan) pemacu penghitungan harus dinaikkan secara optimal tanpa menyebabkan pemecuan palsu oleh gangguan kebisingan listrik.



## 8 Procedure

8.1 *Determination of travel distance and density* - Mark off the positions of the transducers on the specimen so that the line connecting the centers of the transducer contact areas is not inclined more than 2° (approximately 0.1 in. in 3 in. (1 mm in 30 mm)) with a line perpendicular to either surface. Then measure the pulse-travel distance from center to center of the transducer contact area to within 0.1 %. The density of the test specimen is required in the calculation of the ultrasonic elastic constants (see 8.2). Determine the density of the test specimen from measurements of its mass and its volume calculated from the average external dimensions. Determine the mass and average dimensions within 0.1 %. Calculate the density as follows:

$$\rho = m / V$$

where:

$\rho$  = density, lb sec<sup>2</sup>/in.<sup>4</sup>(or kg/m<sup>3</sup>),

$m$  = mass of test specimen, lb sec<sup>2</sup>/386.4 in. (or kg), and

$V$  = volume of test specimen, in<sup>3</sup>(or m<sup>3</sup>).

8.2 *Moisture condition* - The moisture condition of the sample shall be noted and reported as explained in 10.1.3.

8.3 *Determination of pulse-travel time:*

8.3.1 Increase the voltage output of the pulse generator, the gain of the amplifier, and the sensitivity of the oscilloscope and counter to an optimum level, giving a steeper pulse front to permit more accurate time measurements. The optimum level is just below that at which electromagnetic noise reaches an intolerable magnitude or triggers the counter at its lowest triggering sensitivity. The noise level shall not be greater than one tenth of the amplitude of the first peak of the signal from the receiver. Measure the travel time to within 1 part in 100 for compression waves and 1 part in 50 for shear waves by (1) using the delaying circuits in conjunction with the oscilloscope (see section 8.3.1.1 ) or (2) setting the counter to its highest usable precision, (see section 8.3.1.2 ).

8.3.1.1 The oscilloscope is used with the time-delay circuit to display both the direct pulse and the first arrival of the transmitted pulse, and to measure the travel time. Characteristically, the first arrival displayed on the oscilloscope consists of a curved transition from the horizontal zero-voltage trace followed by a steep, more or less linear, trace. Select the first break in a consistent manner for both the test measurement and the zero-time determination. Select it either at the beginning of the curved transition region or at the zero-voltage intercept of the straight line portion of the first arrival.

8.3.1.2 The counter is triggered to start by the direct pulse applied to the transmitter and is triggered to stop by the first arrival of the pulse reaching the receiver. Because a voltage change is needed to trigger the counter, it can not accurately detect the first break of a pulse. To make the most accurate time interval measurements possible, increase the counter's triggering sensitivity to an optimum without causing spurious triggering by extraneous electrical noise.



8.3.2 Tentukan waktu nol pada sirkuit termasuk transduser dan alat pengukur waktu rambatan dan tambahkan koreksi waktu rambatan yang terukur. Faktor ini tetap konstan untuk batuan dengan tingkat tegangan tertentu jika karakteristik sirkuit tidak berubah. Tentukan waktu nol yang sesuai untuk mendeteksi setiap perubahan. Tentukan dengan (1) melekatkan transduser satu dengan lain dan mengukur waktu tunda secara langsung, atau (2) mengukur waktu rambatan beberapa material yang sama (seperti baja) sebagai fungsi dari panjang, dan kemudian menggunakan garis potong panjang nol melalui titik data sebagai faktor koreksi.

8.3.3 Karena rambatan pertama terjadi pada gelombang tekan, maka pendeteksian relatif mudah dilakukan. Akan tetapi, rambatan gelombang geser mungkin dikaburkan oleh getaran yang disebabkan oleh bunyi dering transduser dan pantulan gelombang tekan. Amplitudo gelombang geser yang relatif terhadap gelombang tekan dapat ditingkatkan dan waktu rambatannya dapat ditentukan lebih akurat dengan ketebalan elemen transduser geser. Jenis elemen ini menghasilkan sejumlah energi tekan sehingga kedua gelombang geser dapat dideteksi. Transmisi energi antara benda uji dan setiap transduser dapat ditingkatkan dengan menggunakan lapisan tipis media perantara seperti *fenil salisilat*, *high vacuum grease*, atau resin, dan dengan sedikit menekan transduser pada benda uji.

8.3.4 Untuk benda uji yang mengalami tegangan uniaksial, rambatan pertama gelombang tekan biasanya diketahui dengan baik. Namun, penentuan yang tepat terhadap rambatan pertama gelombang geser benda uji di bawah tekanan menjadi rumit karena moda konversi pada bidang kontak kedua sisi permukaan pelat dan pada batas bebas benda uji (4). Oleh karena itu rambatan gelombang geser sulit ditentukan dan diperlukan pengalaman untuk pembacaan yang teliti.

8.4 Konstanta elastik ultrasonik – Batuan harus isotropik atau sedikit anisotropik jika akan menghitung konstanta elastik ultrasonik (Section 9). Untuk memperkirakan tingkat anisotropi batuan, ukur kecepatan gelombang tekan dalam tiga arah ortogonal, dan pada arah keempat yang berorientasi pada 45° salah satu dari tiga arah terdahulu jika diperlukan sebagai pembanding. Buat pengukuran ini dengan geometri yang sama, yaitu, antara semua permukaan datar yang parallel atau melingkar diameter . Persamaan 9.2 untuk media isotropik tidak akan diterapkan jika salah satu dari tiga kecepatan gelombang tekan bervariasi lebih dari 2% dari nilai rata-ratanya. Kesalahan dalam E dan G (lihat 9.2) karena kesalahan anisotropik dan eksperimental biasanya tidak melebihi 6%. Kesalahan maksimum yang mungkin dalam  $\mu$ ,  $\lambda$ , dan K tergantung pada nilai relatif  $V_p$  dan  $V_s$  maupun pada kesalahan pengujian dan anisotropi. Untuk jenis batuan umum, nilai persen untuk masing-masing kesalahan  $\mu$ ,  $\lambda$ , dan K mungkin sebesar atau bahkan lebih tinggi dari 24, 36, dan 6. Untuk anisotropi yang lebih besar, persentase kemungkinan kesalahan dalam konstanta elastik bahkan lebih besar.

## 9 Perhitungan

9.1 Hitung cepat rambat gelombang tekan dan gelombang geser,  $V_p$  dan  $V_s$ , di bawah ini:

$$V_p = L_p / T_p$$

$$V_s = L_s / T_s$$

Keterangan :

$V$  adalah kecepatan rambatan gelombang, m/s (atau in/det )

$L$  adalah jarak rambatan gelombang, m (atau in )

$T$  adalah waktu tempuh gelombang efektif (s) (koreksi waktu nol) dan tanda p dan s menunjukkan gelombang tekan dan gelombang geser





8.3.2 Determine the zero time of the circuit including both transducers and the travel-time measuring device and apply the correction to the measured travel times. This factor remains constant for a given rock and stress level if the circuit characteristics do not change. Determine the zero time accordingly to detect any changes. Determine it by ( 1) placing the transducers in direct contact with each other and measuring the delay time directly, or (2) measuring the apparent travel time of some uniform material (such as steel) as a function of length, and then using the zero-length intercept of the line through the data points as the correction factor.

8.3.3 Since the first transmitted arrival is that of the compression wave, its detection is relatively easy. The shear-wave arrival, however, may be obscured by vibrations due to ringing of the transducers and reflections of the compression wave. The amplitude of the shear wave relative to the compression wave may be increased and its arrival time determined more accurately by means of thickness shear-transducer elements. This type of element generates some compressional energy so that both waves may be detected. Energy transmission between the specimen and each transducer may be improved by using a thin layer of a coupling medium such as phenyl salicylate, highvacuum grease, or resin, and by pressing the transducer against the specimen with a small seating force.

8.3.4 For specimens subjected to uniaxial stress fields, first arrivals of compression waves are usually well defined. However, the accurate determination of shear-wave first arrivals for specimens under stress is complicated by mode conversions at the interfaces on either side of the face plate and at the free boundary of the specimen (4). Shear-wave arrivals are therefore difficult to determine and experience is required for accurate readings.

8.4 *Ultrasonic elastic constants* - The rock must be isotropic or possess only a slight degree of anisotropy if the ultrasonic elastic constants are to be calculated (Section 9). In order to estimate the degree of anisotropy of the rock, measure the compression-wave velocity in three orthogonal directions, and in a fourth direction oriented at 45° from any one of the former three directions if required as a check. Make these measurements with the same geometry, that is, all between parallel flat surfaces or all across diameters. The equations in 9.2 for an isotropic medium shall not be applied if any of the three compression-wave velocities varies by more than 2% from their average value. The error in  $E$  and  $G$  (see 9.2) due to both anisotropy and experimental error will then normally not exceed 6 %. The maximum possible error in  $\mu$ ,  $I$ , and  $K$  depends markedly upon the relative values of  $V_p$  and  $V_s$  as well as upon testing errors and anisotropy. In common rock types the respective percent of errors for  $\mu$ ,  $I$ , and  $K$  may be large as or even higher than 24, 36, and 6. For greater anisotropy, the possible percent of error in the elastic constants would be still greater.

## 9 Calculation

9.1 Calculate the propagation velocities of the compression and shear waves,  $V_p$  and  $V_s$  respectively, as follows:

$$V_p = L_p / T_p$$

$$V_s = L_s / T_s$$

where:

$V$  = pulse-propagation velocity, in./s (or m/s),

$L$  = pulse-travel distance, in. (or m),

$T$  = effective pulse-travel time (measured time minus zero time correction), s, and subscripts  $p$  and  $s$  denote the compression wave and shear wave, respectively.



9.2 Jika derajat kecepatan anisotropi adalah 2% atau kurang, seperti dalam pasal 8.4, hitung konstanta elastis ultrasonik di bawah ini :

$$E = \left[ \rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2) \right] / (V_p^2 - V_s^2)$$

Keterangan :

$E$  adalah Modulus Elastis Young, Pa (ataupsi )

$\rho$  adalah densitas, kg/m<sup>3</sup> (ataulb/in.<sup>3</sup>)

$$G = \rho V_s^2$$

Keterangan :

$G$  adalah modulus kekakuan atau modulus geser, Pa (ataupsi )

$$\mu = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

Keterangan :

$\mu$  adalah angka Poisson

$$\lambda = \rho(V_p^2 - 2V_s^2)$$

Keterangan :

$\lambda$  adalah konstanta Lamé, Pa (ataupsi )

$$K = \frac{\rho(3V_p^2 - 4V_s^2)}{3}$$

Keterangan :

$K$  adalah modulus Bulk, Pa (ataupsi )

9.3 Semua nilai perhitungan harus sesuai dengan petunjuk angka penting dan pembulatan yang ditetapkan dalam ASTM D 6026

## 10 Laporan

10.1 Laporan harus mencakup hal-hal berikut :

10.1.1 Identifikasi benda uji termasuk tipe batuan dan lokasi

10.1.2 Densitas benda uji

10.1.3 Indikasi umum kondisi kadar air sampel pada saat pengujian seperti pada saat diterima, jenuh, kering suhu laboratorium dan kering oven. Disarankan jika memungkinkan untuk menghitung kondisi kadar air lebih teliti dan melaporkannya sebagai kandungan air atau derajat kejenuhan.

10.1.4 Derajat anisotropi dinyatakan sebagai persentase deviasi maksimum kecepatan gelombang tekan kecepatan rata-rata yang ditentukan dari pengukuran tiga arah.

10.1.5 Tingkat tegangan benda uji



9.2 If the degree of velocity anisotropy is 2 % or less, as specified in 8.4, calculate the ultrasonic elastic constants as follows:

$$E = [\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)] / (V_p^2 - V_s^2)$$

where:

$E$  = Young's modulus of elasticity, psi (or Pa), and

$\rho$  = density, lb/in.<sup>3</sup> (or kg/m<sup>3</sup>);

$$G = \rho V_s^2$$

where:

$G$  = modulus of rigidity or shear modulus, psi (or Pa);

$$\mu = (V_p^2 - 2V_s^2) / [2(V_p^2 - V_s^2)]$$

where:

$\mu$  = Poisson's ratio;

$$\lambda = \rho (V_p^2 - 2V_s^2)$$

where:

$\lambda$  = Lamé's constant, psi (or Pa); and

$$K = \rho (3V_p^2 - 4V_s^2) / 3$$

where:

$K$  = bulk modulus, psi (or Pa).

9.3 All calculated values shall conform to the guidelines for significant digits and rounding established in Practice D 6026.

## 10 Report

10.1 The report shall include the following:

10.1.1 Identification of the test specimen including rock type and location,

10.1.2 Density of test specimen,

10.1.3 General indication of moisture condition of sample at time of test such as as-received, saturated, laboratory air dry, or oven dry. It is recommended that the moisture condition be more precisely determined when possible and reported as either water content or degree of saturation.

10.1.4 Degree of anisotropy expressed as the maximum percent deviation of compression-pulse velocity from the average velocity determined from measurements in three directions,

10.1.5 Stress level of specimens,



10.1.6 Perhitungan kecepatan gelombang untuk gelombang tekan dan gelombang geser dengan arah pengukurannya.

10.1.7 Perhitungan konstanta elastik ultrasonik (jika diinginkan dan jika derajat anisotropi tidak lebih besar dari batas yang ditentukan)

10.1.8 Media penghubung antara transduser dan benda uji,

10.1.9 Data lain seperti sifat fisik, komposisi, petrografi, jika ditentukan.

10.2 Untuk membandingkan nilai hasil perhitungan atau hasil pengukuran dalam batas tertentu, nilai hasil perhitungan atau pengukuran sebaiknya dibulatkan ke desimal terdekat yang tertuang dalam batas spesifikasi sesuai dengan ketentuan ASTM D 6026

## 11 Presisi dan bias

11.1 Sebuah penelitian antar laboratorium tentang kecepatan gelombang longitudinal dan gelombang transversal (LPV dan TPV) pada benda uji utuh dilakukan terhadap empat jenis batuan sesuai dengan ASTM E 691 dalam enam laboratorium dengan lima ulangan setiap jenis batuan. Hasil penelitian ini dilaporkan dalam *ISR Research Report* No. PS D18.12-R01, 1992, dan Addendum, 1994.

11.2 Statistika pengulangan dan reproduksi dilaporkan dalam Tabel 1 dengan merujuk pada presisi laboratorium dan presisi antara laboratorium masing-masing.

11.3 Probabilitas mendekati 95% dari dua hasil tes yang diperoleh dari laboratorium yang sama dengan material yang sama tidak akan berbeda lebih dari nilai limit  $r$  yang berulang, demikian juga probabilitas mendekati 95% dari dua hasil tes yang diperoleh dari laboratorium yang berbeda pada material yang sama, tidak akan jauh berbeda lebih dari nilai limit  $R$  yang dihasilkan. Statistik presisi dihitung dari

$$r = 2\sqrt{2s_r}$$

Keterangan :

$S_r$  adalah deviasi standar pengulangan

$$R = 2\sqrt{2s_R}$$

Keterangan :

$S_R$  adalah deviasi standar yang dihasilkan

11.4 Perlu dicatat bahwa anisotropi untuk TPV dalam granit bar adalah sekitar 5 %, tergantung pada orientasi bidang polarisasi gelombang geser. Data yang disajikan adalah hasil "rata-rata".

11.5 Bias—Tidak ada nilai referensi yang dapat diterima untuk metode pengujian ini; oleh karena itu penyimpangan tidak dapat ditentukan.

## 12 Kata kunci

12.1 uji tekan, anisotropi, uji ultrasonik, kecepatan gelombang



10.1.6 Calculated pulse velocities for compression and shear waves with direction of measurement,

10.1.7 Calculated ultrasonic elastic constants (if desired and if degree of anisotropy is not greater than specified limit),

10.1.8 Coupling medium between transducers and specimen, and

10.1.9 Other data such as physical properties, composition, petrography, if determined.

10.2 For purposes of comparing measured or calculated values with specified limits, the measured or calculated values shall be rounded to the nearest decimal given in the specification limits in accordance with the provisions of Practice D 6026.

## 11 Precision and bias

11.1 An interlaboratory study of longitudinal and transverse pulse velocity (LPV and TPV) of intact specimens of four rock types was conducted in accordance with Practice E 691 in six laboratories with five replications per rock type. The results of this study are reported in ISR Research Report No. PS D18.12-R01, 1992, and its Addendum, 1994.

11.2 The repeatability and reproducibility statistics reported in Table 1 refer to within-laboratory and between-laboratory precision, respectively. Each entry in the tables has the dimensions of km/s.

11.3 The probability is approximately 95 % that two test results obtained in the same laboratory on the same material will not differ by more than the repeatability limit  $r$ . Likewise, the probability is approximately 95 % that two test results obtained in different laboratories on the same material will not differ by more than the reproducibility limit  $R$ . The precision statistics are calculated from:

$$r = 2\sqrt{2s_r}$$

where:

$s_r$  = the repeatability standard deviation, and

$$R = 2\sqrt{2s_R}$$

where:

$s_R$  = the reproducibility standard deviation.

11.4 It should be noted here that the anisotropy for TPV in Barre Granite is about 5 %, depending on the orientation of the plane of polarization for shear waves. The data presented here are "average" results.

11.5 *Bias*—There is no accepted reference value for this test method; therefore bias cannot be determined.

## 12 Keywords

12.1 compression testing; anisotropy; ultrasonic testing; velocity-pulse



**Tabel 1 Statistik pengulangan dan reproduksibilitas**

	Granit bar	Batu Pasir Berea	Batu Gamping Salem	Marmer Tennessee
		LPV, km/det		
nilai rata-rata $\bar{x}$	3,47	2.28	4.15	6.15
batas pengulangan $r$	0,22	0.15	0.27	0.44
batas reproduksibilitas $R$	0,48	0.30	0.58	0.45
		TPV, km/s		
nilai rata-rata $\bar{x}$	2,37	1.45	2.30	3.33
batas pengulangan $r$	0.14	0.07	0.21	0.25
batas reproduksibilitas $R$	0.80	0.58	0.61	0.55

### Referensi

- (1) Simmons, Gene, "Ultrasonics in Geology," *Proceedings, Inst. Electrical and Electronic Engineers*, Vol 53, No. 10, 1965, pp. 1337–1345.
- (2) Whitehurst, E. A., *Evaluation of Concrete Properties from Sonic Tests*, Am. Concrete Inst., Detroit, Mich., and the Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 1966, pp. 1–2.
- (3) Cannaday, F. X., "Modulus of Elasticity of a Rock Determined by Four Different Methods," *Report of Investigations U.S. Bureau of Mines 6533*, 1964.
- (4) Thill, R. E., McWilliams, J. R., and Bur, T. R., "An Acoustical Bench for an Ultrasonic Pulse System," *Report of Investigations U.S. Bureau of Mines 7164*, 1968.
- (5) Gregory, A. R., "Shear Wave Velocity Measurements of Sedimentary Rock Samples under Compression," *Rock Mechanics*, Pergamon Press, New York, N.Y., 1963, pp. 439–471.
- (6) Silaeva, O. I., and Shamina, O. G., "The Distribution of Elastic Pulses in Cylindrical Specimens," *USSR Academy of Sciences (Izvestiya), Geophysics Series*, 1958, pp. 32–43, (English ed., Vol 1, No. 1, 1958, pp. 17–24)



**Table 1 Repeatability and reproducibility statistics**

	Barre Granite	Berea Sandstone	Salem Limestone	Tennessee Marble
		LPV, km/s		
Mean $\bar{x}$	3.47	2.28	4.15	6.15
Repeatability limit $r$	0.22	0.15	0.27	0.44
Reproducibility limit $R$	0.48	0.30	0.58	0.45
		TPV, km/s		
Mean $\bar{x}$	2.37	1.45	2.30	3.33
Repeatability limit $r$	0.14	0.07	0.21	0.25
Reproducibility limit $R$	0.80	0.58	0.61	0.55

### References

- (1) Simmons, Gene, "Ultrasonics in Geology," *Proceedings, Inst. Electrical and Electronic Engineers*, Vol 53, No. 10, 1965, pp. 1337–1345.
- (2) Whitehurst, E. A., *Evaluation of Concrete Properties from Sonic Tests*, Am. Concrete Inst., Detroit, Mich., and the Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa, 1966, pp. 1–2.
- (3) Cannaday, F. X., "Modulus of Elasticity of a Rock Determined by Four Different Methods," *Report of Investigations U.S. Bureau of Mines 6533*, 1964.
- (4) Thill, R. E., McWilliams, J. R., and Bur, T. R., "An Acoustical Bench for an Ultrasonic Pulse System," *Report of Investigations U.S. Bureau of Mines 7164*, 1968.
- (5) Gregory, A. R., "Shear Wave Velocity Measurements of Sedimentary Rock Samples under Compression," *Rock Mechanics*, Pergamon Press, New York, N.Y., 1963, pp. 439–471.
- (6) Silaeva, O. I., and Shamina, O. G., "The Distribution of Elastic Pulses in Cylindrical Specimens," *USSR Academy of Sciences (Izvestiya), Geophysics Series*, 1958, pp. 32–43, (English ed., Vol 1, No. 1, 1958, pp. 17–24).



## Ringkasan perubahan

Komite ASTM D 18 telah mengidentifikasi lokasi perubahan pada standar ini sejak edisi terakhir (D 2845 – 05) sehingga dapat mempengaruhi penggunaan standar ini. (disetujui 1 juni 2005)

(1) direvisi bagian 1.4

*ASTM internasional tidak bertanggungjawab dalam keabsahan dan penegasan setiap hak paten terkait dengan setiap item yang disebutkan dalam standar ini. Pengguna standar ini disarankan untuk mengetahui bahwa penentuan keabsahan hak paten tersebut dan resiko pelanggaran hak tersebut, adalah sepenuhnya tanggung jawab mereka sendiri.*

*Standar ini bisa direvisi setiap saat oleh panitia teknis yang bertanggung jawab dan harus ditinjau setiap lima tahun dan jika tidak direvisi, baik itu disetujui atau ditarik kembali. Komentar Anda diharapkan baik untuk revisi standar ini atau standar tambahan dan harus ditujukan kepada Kantor Perwakilan ASTM International. Komentar Anda akan diterima dan dipertimbangan dengan cermat dalam pertemuan komite yang bertanggung jawab secara teknis, dimana Anda pun dapat menghadirinya. Jika Anda merasa bahwa komentar Anda belum diterima maka Anda harus membuat usulan agar diketahui oleh Panitia Teknis Standar ASTM, di alamat yang ditunjukkan di bawah ini.*

*Standar ini merupakan hak cipta dari ASTM Internasional, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, Conshohocken Barat, PA 19.428-2.959, Amerika Serikat. Cetak ulang (tunggal atau beberapa salinan) dari standar ini dapat diperoleh dengan menghubungi ASTM pada alamat di atas atau di 610-832-9585 (telepon), 610-832-9555 (fax), atau [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e - mail); atau melalui situs ASTM ([www.astm.org](http://www.astm.org))*



## Summary of changes

Committee D18 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D 2845 – 05) that may impact the use of this standard. (Approved June 1, 2005.)

(1) Revised Section 1.4.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*